

УДК 622.831.1

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

Грищенко Н.Н., Грищенко А.Н.
(ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

Запропоновано на підставі параметрів головних напружень визначати просторову орієнтацію сил тиску, що діють у зонах впливу очисних робіт. Побудовані епюри головних напружень для точок масиву гірських порід. Запропонований метод прогнозу деформацій гірського масиву на підставі головних напружень.

Space orientation for strain forces acting in areas of mining has been determined on the base of major stress analysis. Major stress distribution in vicinity of waste gobs was found. A method for forecasting of rock mass deformations has been developed using major stresses.

Свыше 70% угольных шахт в Донбассе разрабатывают свиты пологих, наклонных и крутопадающих пластов. Отработка свит пластов сопровождается появлением большого числа зон опорного давления, опасных по внезапным выбросам угля, породы, газа и горным ударам. Ежегодно формируется около 9 тысяч таких зон. Средняя глубина отработки превысила 700 м, а около 30 шахт в Центральном Донбассе разрабатывают пласты на глубинах, превышающих 1000 м. Рост глубины отработки ведет к усилению интенсивности проявлений горного давления и к увеличению размеров зон опорного давления.

Поскольку в зонах опорного давления значительно возрастает вероятность газодинамических явлений, снижается устойчивость непосредственной кровли в лавах, ухудшается состояние горных выработок, одними из главных задач маркшейдерской службы являются оконтуривание этих зон на планах горных работ и разработка мер безопасного ведения

горных работ в них. На решение этих задач традиционными методами на глубоких шахтах уходит до 30-40% рабочего времени маркшейдеров. Поэтому автоматизация расчетов напряженного состояния горного массива в зонах влияния очистных работ и оконтуривание зон опорного давления является достаточно актуальной задачей.

Основную роль в решении этой задачи играет современная компьютерная технология математического моделирования процессов, протекающих в толще горных пород. В рамках этой технологии в ДОНГТУ разработан программный комплекс STRAIN, позволяющий определить значения напряжений в любой точке вмещающей толщи для различных горно-технологических ситуаций и автоматически оконтурить зоны опорного давления [1,2]. Этот комплекс прошел государственные приемочные испытания и эксплуатируется в ряде производственных объединений Донбасса.

На рис. 1 показаны построенные с помощью данного комплекса изолинии коэффициента концентрации напряжений K_y и границы зон опорного давления (штриховые линии) для одиночной лавы и двух лав на этаже (угол падения $\alpha = 45^\circ$, средняя глубина отработки 1000 м).

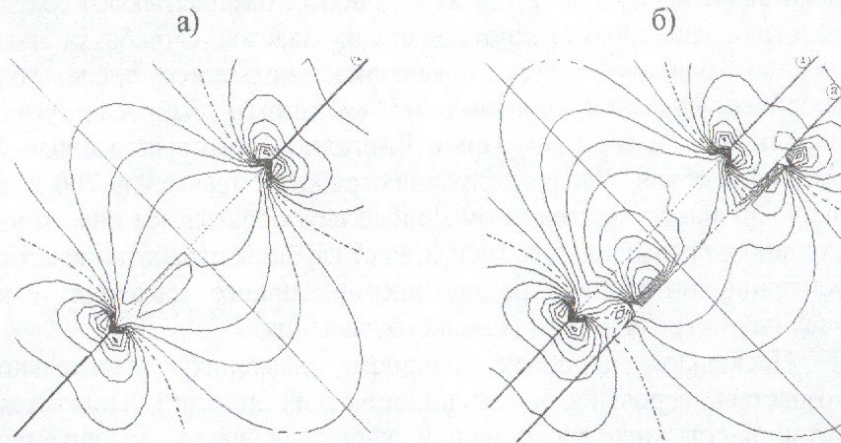


Рис. 1. Графики коэффициентов концентрации напряжений K_y для одиночной лавы и двух лав при $\alpha = 45^\circ$.

Для оконтуривания границ зон опорного давления используется известный критерий равенства полных σ_y и геостатических σ_y^0 напряжений, нормальных к напластованию пород. Этот критерий эквивалентен критерию равенства нулю нормальных к напластованию дополнительных напряжений σ_{yy} , отражающих влияние очистных работ. Коэффициент концентрации напряжений $K_y = \sigma_y / \sigma_y^0$ для точек границ зон опорного давления в этом случае равен единице.

Несмотря на то, что данный критерий для построения границ зон опорного давления является достаточно устойчивым, анализ, проведенный в работе [3] показал, что он не учитывает влияния дополнительных напряжений σ_{xx} в плоскости напластования.

Для получения более точной картины напряжений в толще горных пород был предложен новый критерий построения границ зон опорного давления. Оконтуривание этих зон целесообразно вести по критерию нулевых дополнительных результирующих напряжений. При этом дополнительные результирующие напряжения σ_{rr} являются векторной суммой дополнительных напряжений σ_{yy} и σ_{xx} (на разрезе вкрест простирания пластов), т.е. $\sigma_{rr} = (\sigma_{yy}^2 + \sigma_{xx}^2)^{1/2}$. На рис. 2 показаны графики концентрации напряжений и границы зон опорного давления (штриховая кривая), построенные по старому ($\sigma_{yy} = 0$) и новому ($\sigma_{rr} = 0$) критериям для одиночной лавы при горизонтальном и наклонном залегании пластов ($\alpha=0^\circ$ и $\alpha=45^\circ$).

При использовании критерия $\sigma_{rr} = 0$ существенно уменьшаются размеры зоны разгрузки и, главное, границы этой зоны в подрабатываемой и надрабатываемой толще замыкаются, т.е. формируется граница некоего условного свода. Это находит подтверждение и в результатах шахтных наблюдений. Аналогичная закономерность в формировании зон опорного давления по новому критерию наблюдается и для случаев отработки нескольких лав на этаже, хотя конфигурация этих зон может значительно усложниться (рис. 3).

Использование в качестве критерия дополнительных результирующих напряжений существенно уточняет положение зон опорного давления. Однако, напряжения являются

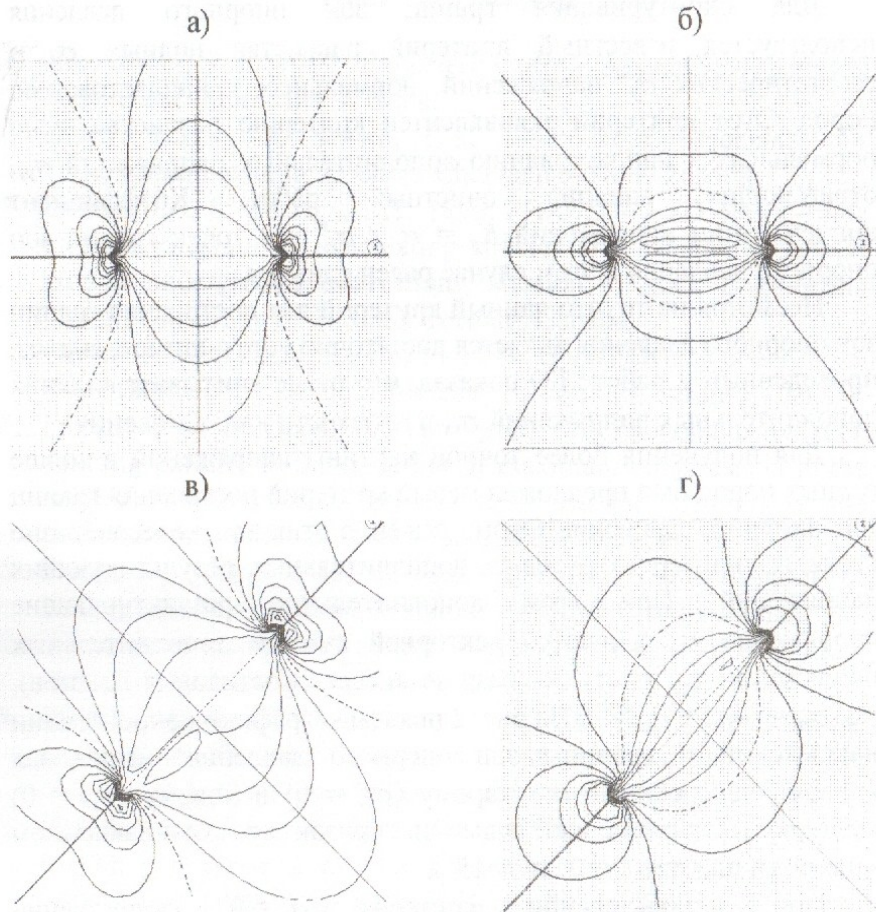


Рис. 2. Границы зон опорного давления для одиночной лавы, построенные по критериям $\sigma_{yy} = 0$ (а, в) и $\sigma_{rr} = 0$ (б, г) для горизонтального и наклонного залегания пластов ($\alpha=0^\circ$ и $\alpha=45^\circ$).

числовыми характеристиками сил давления, действующих в горном массиве, т.е. скалярными величинами, и не могут указать на ориентацию этих сил в пространстве.

Между тем, имея векторную картину действия данных сил в сочетании со значениями напряжений, можно построить достаточно обоснованную геомеханическую модель поведения горного массива в зонах влияния очистных работ и

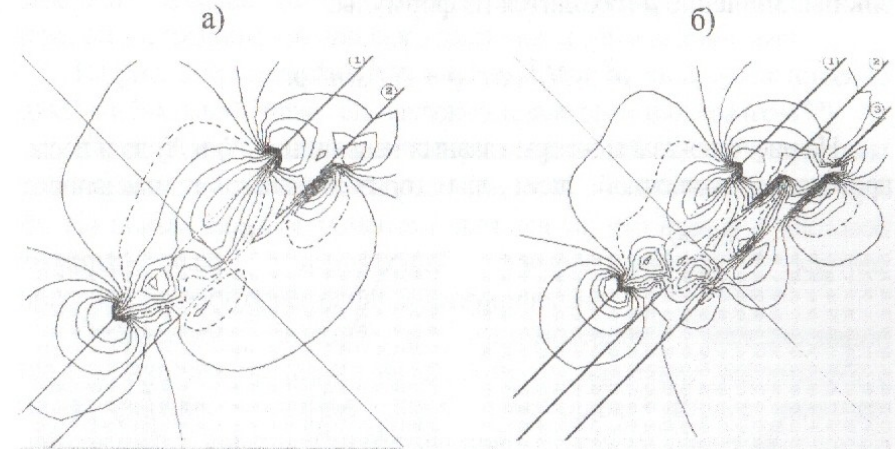


Рис. 3. Границы зон опорного давления для нескольких лав на этаже, построенные по критерию $\sigma_{rr} = 0$ для наклонного залегания пластов ($\alpha=45^\circ$).

спрогнозировать его вероятные деформации.

Получить наиболее вероятную ориентацию действия сил давления в каждой точке горного массива можно с помощью главных напряжений N_1 и N_2 и максимальных касательных напряжений τ_{max} . Эти напряжения находятся через полные напряжения, нормальные к напластованию σ_y , в плоскости напластования σ_x и касательные τ_{xy} :

$$N_1 = (\sigma_x + \sigma_y + (\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha_0) / 2 + \tau_{xy} \sin 2\alpha_0,$$

$$N_2 = (\sigma_x + \sigma_y - (\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha_0) / 2 - \tau_{xy} \sin 2\alpha_0,$$

$$\tau_{max} = (N_2 - N_1) / 2,$$

где $\operatorname{tg} 2\alpha_0 = 2\tau_{xy} / (\sigma_x - \sigma_y)$, а α_0 - угол между осью абсцисс (линией падения пласта) и направлением главного напряжения N_1

Для построения эпюр главных напряжений можно воспользоваться полярными координатами ρ и φ . При этом φ - это угол между направлением главного напряжения N_1 и направлением на текущую точку эпюры, а ρ - это расстояние от точки, в которой были вычислены напряжения, до текущей точки

эпоуры. Значение ρ находится из формулы:

$$\rho^2 = N_1^2 \cos^2 \varphi + N_2^2 \sin^2 \varphi.$$

На рис. 4 показаны эпоуры главных напряжений N_1 и N_2 до и после проведения одиночной лавы для горизонтального и наклонного залегания пластов ($\alpha=0^\circ$ и $\alpha=45^\circ$).

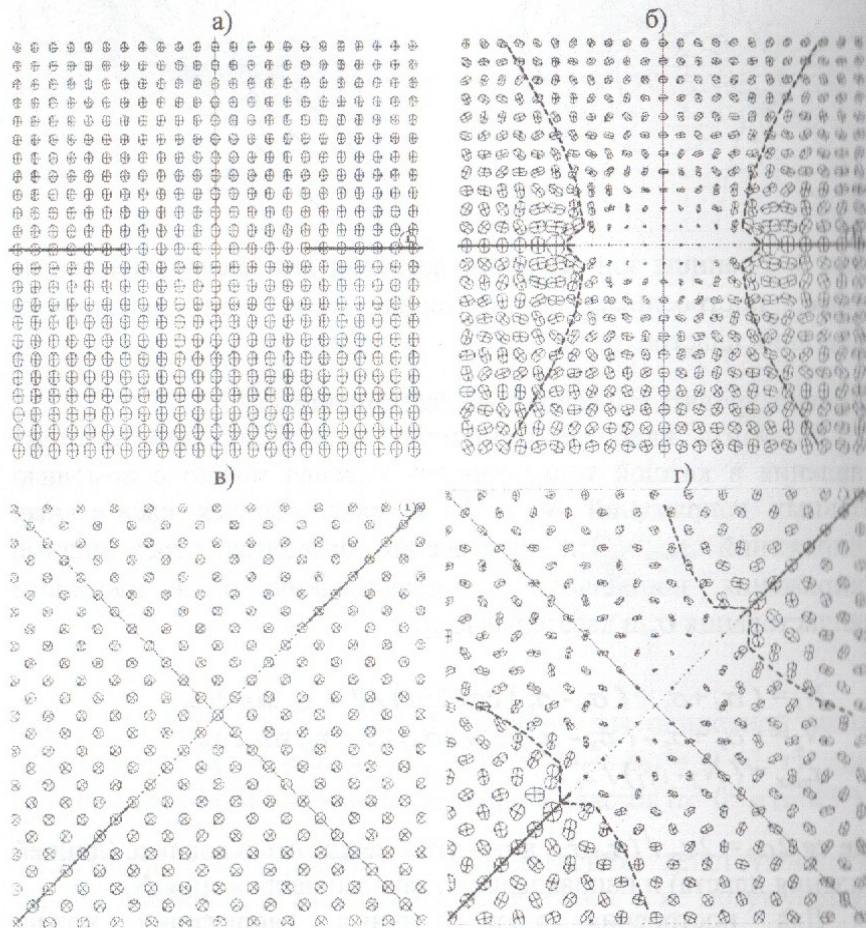


Рис. 4. Эпоуры главных напряжений до (а, в) и после (б, г) проведения одиночной лавы для горизонтального и наклонного залегания пластов ($\alpha=0^\circ$ и $\alpha=45^\circ$).

залегания пластов ($\alpha=0^\circ$ и $\alpha=45^\circ$). Одновременно на графиках показаны и границы зон опорного давления (штриховые кривые).

На рис. 5 приведены эпоуры главных напряжений соответственно для 2-х и 3-х лав на этаже для наклонного залегания пластов ($\alpha=45^\circ$).

Картина распределения главных напряжений N_1 и N_2 довольно тесно коррелирует с картиной распределения полных напряжений σ_x и σ_y . Но новым важным моментом является то, что наряду с числовой характеристикой напряжений вырисовывается картина пространственной ориентации действующих сил.

Следующим шагом в компьютерном моделировании геомеханических процессов является прогнозирование деформаций в зонах влияния очистных работ. Имеющиеся данные шахтных наблюдений в зонах опорного давления и разгрузки свидетельствуют о значительной упругости массива горных пород и позволяют рассматривать его как изотропно-трансверсальную среду.

Основываясь на известных положениях теории упругости о связи компонентов напряжений σ и деформаций ε , можно воспользоваться известным соотношением $\varepsilon = \sigma / E$, где E - модуль упругости пород данного междупластья. Тогда вероятные деформации ε_1 и ε_2 вдоль

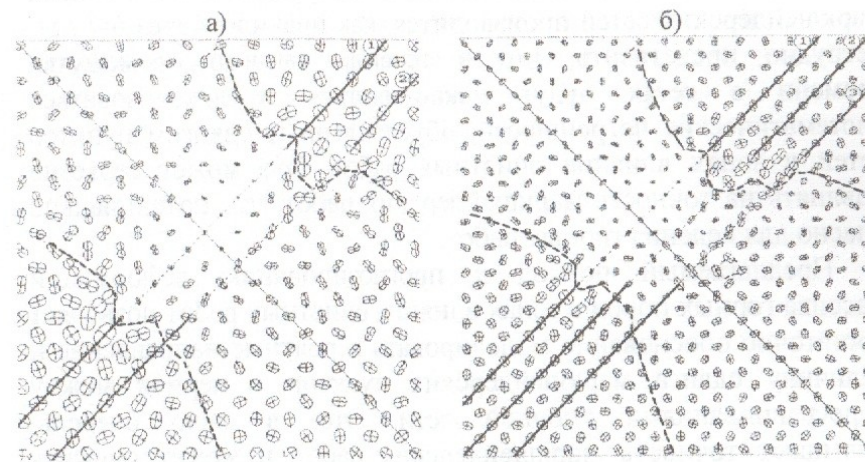


Рис. 5. Эпоуры главных напряжений для нескольких лав на этаже при наклонном залегании пластов ($\alpha=45^\circ$).

направлений главных напряжений N_1 и N_2 будут равны

$$\varepsilon_1 = N_1/E, \quad \varepsilon_2 = N_2/E.$$

Очевидно, что эпюры деформаций ε_1 и ε_2 будут пропорциональны эпюрам главных напряжений N_1 и N_2 . Это обстоятельство должно учитываться при принятии технических решений по охране горных выработок в зонах влияния очистных работ, а также при текущем и перспективном календарном планировании горных работ.

Существует и еще один важный аспект прогнозирования деформаций массива горных пород в зонах влияния очистных работ. Известно, что подземные маркшейдерские опорные и съемочные сети являются весьма разветвленными и создаются на протяжении всего срока эксплуатации шахты. Они по сути дела повторяют топологию всех горных выработок шахты. Деформации горного массива в зонах влияния очистных работ, естественно, приводят и к деформациям подземных маркшейдерских сетей, расположенных в горных выработках. Учитывая тот факт, что весь комплекс повторных измерений в этих сетях выполнить невозможно, а переуравнивание опорных маркшейдерских сетей производится, как правило, через 5-7 лет, нетрудно представить, что в течение данного промежутка времени в сетях будут накапливаться и локализоваться систематические погрешности, обусловленные сдвигом пунктов сетей в зонах влияния очистных работ. Это может серьезно повлиять на точность маркшейдерских работ, что потенциально опасно для ведения горных работ.

Предлагаемый подход к прогнозированию деформаций массива горных пород в зонах влияния очистных работ позволяет достаточно обоснованно моделировать вероятные направление и величину сдвига маркшейдерских пунктов в период между переуравниваниями опорной сети. Это, в свою очередь, повышает точность маркшейдерских работ и может служить ключевым элементом технологии оперативного переуравнивания всей сети либо ее отдельных участков.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Зборщик М.П., Черняев В.И., Грищенко Н.Н. Автоматизированная система расчета напряженного состояния толщи горных пород в зонах влияния очистных выработок // 12 Международная конференция по автоматизации в горном деле (ICAMC'95). - 13-15.09.1995, Gliwice, Poland. - С.557-562.
2. M.P.Zborschik, V.I.Chernyaev, N.N.Grischenkov, V.P.Kostin. The automated method for calculation of increased rock pressure areas under multiple undermining and upmining of coal seams // Mine geomechanics conference "Geomechanical support of mining production". - June 3-7, 1997, Nesebar, Bulgaria. - P.117-123.
3. Грищенко Н.Н. Уточненная модель построения зон повышенного горного давления // Проблемы горного давления. - 1999, №3. - С.122-129.